

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-172752

(P2001-172752A)

(43) 公開日 平成13年6月26日 (2001.6.26)

(51) Int.Cl. ⁷	酸別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 3	C 2 2 C 38/00	3 0 3 U 4 K 0 3 3
C 2 1 D 8/12		C 2 1 D 8/12	A 5 E 0 4 1
9/46	5 0 1	9/46	5 0 1 A
C 2 2 C 38/42		C 2 2 C 38/42	
H 0 1 F 1/16		H 0 1 F 1/16	A
審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)			

(21) 出願番号 特願平11-358072

(22) 出願日 平成11年12月16日 (1999.12.16)

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 島津 高英

姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

(72) 発明者 佐藤 浩明

姫路市広畑区富士町1番地 新日本製鐵株式会社広畑製鐵所内

(74) 代理人 100062421

弁理士 田村 弘明 (外1名)

Fターム (参考) 4K033 AA01 DA01 FA12 HA01 HA03

RA03 SA01

5E041 AA02 CA04 NN01 NN06

(54) 【発明の名称】 磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 地球環境問題からの鉄スクラップの積極活用課題を解決し、磁石埋設型モータの回転子の固有問題であった、無方向性電磁鋼板の剛性、打抜き性、磁気特性などの課題も解決した無方向性電磁鋼板及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 重量%で、C \leq 0.005%、Si:1.6~2.8%、Mn \leq 0.5%、P \leq 0.05%、S \leq 0.002%、Al:1~4%、N \leq 0.004%、Cu:0.05~0.7%、Ni:0.01~0.2%、Cr:0.01~0.2%、Sn:0.003~0.1%で、残部が実質的に鉄からなり、結晶粒径が80~170 μ mで、内部酸化層厚み \leq 0.5 μ m、降伏点強度:260~370N/mm²であることを特徴とする磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板。該鋼板は、熱延板を焼鈍し、冷延してから焼鈍をして製造する。

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、

C ≤ 0.005%、
 Si : 1.6~2.8%、
 Mn ≤ 0.5%、
 P ≤ 0.05%、
 S ≤ 0.002%、
 Al : 1~4%、
 N ≤ 0.004%、
 Cu : 0.05~0.7%、
 Ni : 0.01~0.2%、
 Cr : 0.01~0.2%、
 Sn : 0.003~0.1%

を含有し、残部が実質的に鉄からなり、結晶粒径が80~170 μ mで、内部酸化層厚み≤0.5 μ m、降伏点強度：260~370N/mm²であることを特徴とする磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板。

【請求項2】 重量%で、

C ≤ 0.005%、
 Si : 1.6~2.8%、
 Mn ≤ 0.5%、
 P ≤ 0.05%、
 S ≤ 0.002%、
 Al : 1~4%、
 N ≤ 0.004%、
 Cu : 0.05~0.7%、
 Ni : 0.01~0.2%、
 Cr : 0.01~0.2%、
 Sn : 0.003~0.1%

を含有し、残部が実質的に鉄からなる熱延板を焼鈍し、冷延を行ってから、焼鈍して、結晶粒径を80~170 μ mとし、内部酸化層厚み≤0.5 μ m、降伏点強度：260~370N/mm²とすることを特徴とする磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、鉄リサイクルを可能にする成分系を前提とした、磁石埋設型のモータに最適な無方向性電磁鋼板に関し、特に、従来の課題であった打ち抜き加工性や磁気特性の向上を図った磁石埋設型モータ用無方向性電磁鋼板及びその製造方法に係るものである。

【0002】

【従来の技術】地球資源が枯渇するかも知れないとの近未来的な状況の中で、色々な分野で資源の再利用の動きが急である。このため、鉄鋼業でも各種の鉄スクラップ、例えば自動車、洗濯機、エアコンなどを製鉄原料として利用する必要が生じてきている。このためには、従来有害とされてきたCu, Ni, Cr, Snなどのスクラップに含有する成分を積極利用しなければならない。

【0003】一方で、同じ地球資源問題から、エネルギーの無駄使いをなくそうとの動きも強まっている。モータの分野でも、例えば一般家庭用のエアコンに見られるように、消費電力低下による電気代が安いものが求められている。このため、モータの設計においても消費電力を少なくすべく改良が計られてきた。従来のモータは殆どが誘導モータであり、この誘導モータは回転子にアルミダイキャストを施し、このアルミに誘導電流を流す方式であった。しかしながら、近年の日本においては、効率の観点からインバータ制御化が進み、更には回転子に永久磁石を埋め込んだ、いわゆる磁石埋設型DCインバータ制御モータと呼ばれる形式に変わりつつある。

【0004】ところで、今までこの磁石埋設型回転子に用いられる無方向性電磁鋼板の第一の課題は、高速回転での遠心力で磁石が飛び出してモータが破壊されないための必要最低限の強度である。このためには、降伏点強度で260Mpa以上が必要とされている。高強度にするために、従来はSi量を上げて固溶体強化を行う手段が採用されていた。しかしながらSiが増加すると、打ち抜き金型の摩耗が激しくなって打ち抜き作業性が劣化していた。これが第二の課題であった。即ち、Siの活用によるモータの破壊防止と打ち抜き性の改善とは二律相反する現象であった。更に、第三の課題はモータ効率改善、特に固定子（ステータ）でのインバータ制御での高周波鉄損の更なる低減である。なお、回転子と固定子は通常、同一のコイルから打ち抜かれることが多いので、回転子と固定子との両者を満足させる特性が無方向性電磁鋼板には要求される。

【0005】一方、上記したように地球環境問題から不純物とされてきたCu, Ni, Cr, Snなどを積極活用しなければならないが、上記の磁石埋設型モータ用無方向性電磁鋼板などの超高級機能性鋼板に、これらのCu, Ni, Cr, Snなどを含有させることは従来、疵の問題や磁気特性への懸念から不可能と考えられてきた。その理由の一つとしては、実験室レベルでの研究ではうまく行っても、実際の工場を通板してみると打ち抜き性や高周波鉄損特性に劣化の大きいものがしばしば発生して、その原因が究明出来ていなかったためである。即ち、これらの課題を同時に解決する無方向性電磁鋼板は今まで提案されていなかった。

【0006】なお特開平8-97023号公報では、Sbを添加することで酸化層を少なくして磁気特性を改善することが開示されている。しかし、Sbは高価な上、人体に有害でもあること、また熱延板もしくは熱延板焼鈍後のスケール残量が議論されているが、それは最表層に存在する酸化層のことであり、本発明で重要なインバータ制御用の高周波用途には意味のない酸化層であったため、利用されることがなかった。また、K. MatsumuraとB. Fukuda: IEEE Trans. mag. 20(1984)1533でも酸化層のことが述べられているが、これも最表層から存在する酸

化層のことであった。なお、無方向性電磁鋼板として知られる製品板厚は0.1~1mmである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の点に鑑み、地球環境問題からの鉄スクラップの積極活用課題を解決し、更には磁石埋設型モータの固有問題であった無方向性電磁鋼板の剛性、打抜き性、磁気特性などを抜本

C ≤ 0.005%、
Mn ≤ 0.5%、
S ≤ 0.002%、
N ≤ 0.004%、
Ni : 0.01~0.2%、
Sn : 0.003~0.1%

を含有し、残部が実質的に鉄からなり、結晶粒径が80~170μmで、内部酸化層厚み≤0.5μm、降伏点強度：260~370N/mm²、であることを特徴とする

C ≤ 0.005%、
Mn ≤ 0.5%、
S ≤ 0.002%、
N ≤ 0.004%、
Ni : 0.01~0.2%、
Sn : 0.003~0.1%

を含有し、残部が実質的に鉄からなる熱延板を焼鈍し、冷延を行ってから、焼鈍して、結晶粒径を80~170μmとし、内部酸化層厚み≤0.5μm、降伏点強度：260~370N/mm²とすることを特徴とする磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板の製造方法。

【0009】本発明のポイントは3点ある。一つは、打抜き性の金型摩耗を少なくするには鋼板の降伏点を小さくすべきこと、このためにはSiよりもAlを積極活用したほうが良いこと、更には、Cu、Ni、Cr、Snの4種を含有する鋼板で発生しやすい内部酸化層を少なくすることが重要である。二点目は、鉄損を改善するには、従来公知の結晶粒径制御以外に内部酸化層も効いていること、特に高周波鉄損にこの内部酸化層が重要である。三点目は、これらの降伏点、内部酸化層などを制御することは、工業的に充分可能なことである。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の限定理由について説明する。成分含有量は重量%である。C量は、0.005%以下とする。C量が0.005%を超えると、磁気時効問題があるため低周波鉄損が増加するためである。

【0011】Si量は、1.6~2.8%に制限する。Siは鋼板剛性を増加させるのに有効で、1.6%未満では降伏点が低すぎて不満で、また2.8%超では、降伏点が高すぎ金型摩耗が大きく不可である。

【0012】Mn量は、0.5%以下とする。Mnは熱間割れを防止する効果があるが、多すぎると添加コストの問題があるので、0.5%以下とする。

的に解決する無方向性電磁鋼板、及びその製造方法を提供するものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明の要旨とするところは以下の通りである。

(1) 重量%で、

Si : 1.6~2.8%、
P ≤ 0.05%、
Al : 1~4%、
Cu : 0.05~0.7%、
Cr : 0.01~0.2%、

磁石埋設型のモータ用無方向性電磁鋼板。

(2) 重量%で、

Si : 1.6~2.8%、
P ≤ 0.05%、
Al : 1~4%、
Cu : 0.05~0.7%、
Cr : 0.01~0.2%、

【0013】P量は、0.05%以下に制限する。Pも結晶粒成長を阻害して、製品結晶粒径を細粒化するため少ない方が好ましいが、この限界が0.05%である。

【0014】S量は、0.002%以下とする。Sは硫化物を形成して鉄損を劣化させる。この限界が、0.002%である。

【0015】Al量は、1~4%とする。Alは鋼板剛性を増加させるのに有効で、1%未満では降伏点が不満であり、また4%超では添加コストが大きくなるため、避けなければならない。

【0016】N量は、0.004%以下とする。Nは窒化物を形成して鉄損を劣化させる。この限界が0.004%である。

【0017】Cu量は、0.05~0.7%とする。鉄スクラップの有効活用の意味は0.05%以上のCuであり、また0.7%を超えるとCuへげと称される熱延での鋼板表面割れが発生するので、避けなければならない。

【0018】Ni量は、0.01~0.2%とする。鉄スクラップの有効活用の意味は0.01%以上のNiであり、また0.2%を超えると結晶粒成長が阻害されるため不可とする。

【0019】Cr量は、0.01~0.2%とする。鉄スクラップの有効活用の意味は、0.01%以上のCrであり、また、実用上、鉄スクラップから0.2%を超えることはないので、0.01~0.2%とする。

【0020】Sn量は、0.003~0.1%とする。鉄スクラップの有効活用の意味は0.003%以上のS

nであり、また実用上、鉄スクラップから0.1%を超えることはないので、0.01~0.1%とする。

【0021】その他の元素として、集合組織を改善するための公知のB、Moなどを添加しても本発明として有害なものではない。但し添加コストの問題があるので、それぞれ0.1%以下が好ましい。また、公知の有害元素、Ti、Nbは0.01%以下が好ましい。また本発明では高価なSbは添加しないので、製鋼作業の不可避的不純物としての量である0.01%未満である。

【0022】製鋼で上記の成分に調整された連続製造スラブは、通常の熱間圧延を行われて熱延板とされる。熱延板は、次いで焼鈍される。熱延板焼鈍は、通常の800~1200℃であって磁束密度改善のためには高温のほうが好ましい。なお熱延板焼鈍温度は高い方が若干であるが、製品の降伏点は低めとなる傾向になる。

【0023】次いで、冷延を行ってから焼鈍を実施する。焼鈍後の鋼板の平均結晶粒径は、80μm以上、170μm以下とする。80μm未満では、低周波鉄損が不満足で、また170μm超では高周波鉄損が不満である。結晶粒径を制御するためには、通常の温度×時間制御をすればよい。

【0024】また、内部酸化層の厚みは0.5μm以下でなければならない。内部酸化層が0.5μmを超えると、高周波鉄損の劣化が大きいのである。特に、本発明のCu、Sn、Ni、Cr複合含有系では、内部酸化層が生じ易いので注意しなければならない。

【0025】ここで言う内部酸化層とは、最表層がSiまたはAlが若干少なくなった鉄メタル層の下層に形成された、Si、Al、Mnなどがリッチの酸化層のことである。即ち表面構造としては、最表層の第一層が鉄メタルで、第二層が内部酸化層、第三層が地鉄である三層構造が形成されている。内部酸化層が厚くなると、最表層の鉄メタル層厚みも増加する傾向にあるが、例えば内部酸化層が0.5μmの場合は、鉄メタル層厚みは0.8μm程度である。なお、最表層の鉄メタル層は殆どの場合、内部酸化層の上にフィルム（膜）状に観察される。しかし、まれなケースとしては、この最表層の鉄メタル部分がなく、内部酸化層の上層部分に、鉄メタルが断続的な島状のものとして観察されることもある。この場合の内部酸化層厚みは、島状の鉄メタル厚みの平均化したものを全体の酸化層厚みから引いたものとして定義する。内部酸化層の下層は地鉄である。

【0026】この内部酸化層は地鉄との境界面の凹凸が大きいので、磁束の流れを阻害して高周波鉄損を著しく劣化させるので、特に注意しなければならない。なお、この内部酸化層は、鋼板断面の研磨面を5000倍以上の倍率でSEM-EDX測定することで観察することができるが、SEM像は通常の二次電子ではなく、反射電子像の方が内部酸化層厚みを明瞭に見ることができる。内部酸化層厚みは、最表層の鉄メタル界面と下層の地鉄

界面との中間層の厚みであるが、上下それぞれの界面の凹凸中心線（凹凸曲線の平均線に平行な直線を引いたとき、この直線と凹凸曲線で囲まれる面積が、この直線の両側で等しくなる直線を中心線とする）同士の差として定義される。

【0027】この内部酸化層は、焼鈍の加熱過程などで酸化された場合に生じるため、例えば加熱ラジアンチューブでの割れや直火無酸化炉での空燃比に十分注意しなければならない。即ち、焼鈍の加熱過程で酸化されると、次いで高温での還元ガスで均熱焼鈍されても内部酸化層まで還元されることはない。なお、この内部酸化層は、従来の $H_2 + N_2 + H_2O$ 混合の湿潤ガス中での均熱焼鈍で、最表面から酸化される現象を意味しない。この表面酸化は高周波鉄損に悪影響しない。

【0028】また実験室レベルでは、加熱から均熱、冷却まで非酸化性ガス中で焼鈍することが容易であるが、鉄鋼メーカーの実炉では加熱帯に直火バーナーやラジアンチューブを用いることが多いので、特にCu、Sn、Ni、Cr複合含有系では、この内部酸化層には注意を払わなければならない。均熱帯で例えば100% H_2 の露点-50℃ドライ雰囲気として高温均熱しても、この内部酸化層までは還元されないので注意を要する。

【0029】上記、再結晶焼鈍の後は通常の絶縁皮膜が塗布乾燥されて出荷される。出荷された後は、打ち抜き加工され、積層固定され、そのまま、または焼鈍されて（特に固定子が磁性改善のために焼鈍される場合がある）磁石埋設型モータコアとなる。以下、実施例で説明する。

【0030】（実施例1）表1に示す各種の成分系を真空溶解で溶解して、インゴットを作成した。これを1030℃に加熱してから、10mm厚の鋼片に分塊した。次いで、更に1000℃に加熱してから、1.7mmの熱延板を作成した。次いで1100℃で30秒均熱の窒素中焼鈍を行ってから大気中放冷した。酸洗後、冷延して0.35mm厚とした。次いで脱脂して、1000℃で5秒の水素中焼鈍を実施した。

【0031】これから、引張試験片を圧延方向とそれと直角の方向に切り出し、降伏点（YP）を測定して平均化した値を表1に併記した。なお、降伏点は上昇伏点より、読み取り精度の高い下降伏点とした。また、100mm角の試料を切り出してから、圧延方向とそれと直角の方向の400Hz鉄損を測定し、平均して表1に示した。また、鋼板断面の平均結晶粒径を厚み方向にカウントとして求めた。なお、内部酸化層も調査したが存在しなかった。

【0032】表1に示すように、本発明の成分範囲を外れるものは、降伏点の下限・上限を外れ、また鉄損特性が不満となった。なお、製品での成分分析も実施したが、インゴットでの分析結果と同じであった。

【0033】

【表1】

表1 実施例1の実験条件と結果一覧表

実験 No.	化学成分 (wt %)											結晶粒径 μm	YP N/mm^2	W10/400 v/kg	備考
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Sn	Ni	Cr				
1	0.001	0.2	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	125	272	21.8	比較例
2	0.001	0.2	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	125	272	19.0	比較例
3	0.001	1.6	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	124	272	18.5	発明例
4	0.001	1.9	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	122	295	17.8	発明例
5	0.001	2.3	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	122	318	17.3	発明例
6	0.001	2.7	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	120	360	16.7	発明例
7	0.001	2.9	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	120	372	16.2	比較例
8	0.001	3.3	0.36	0.02	0.0005	1.1	0.001	0.37	0.07	0.02	0.05	120	385	15.8	比較例
9	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	0.7	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	130	257	21.5	比較例
10	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	0.7	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	125	257	18.7	比較例
11	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	1.0	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	124	266	18.2	発明例
12	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	2.1	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	122	296	16.2	発明例
13	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	3.0	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	121	324	15.2	発明例
14	0.003	1.7	0.08	0.01	0.0015	4.0	0.002	0.08	0.005	0.12	0.15	121	351	14.3	発明例
15	0.002	2.1	0.45	0.01	0.0003	1.5	0.002	0.18	0.10	0.09	0.07	127	312	16.5	発明例
16	0.002	2.1	0.45	0.04	0.0003	1.5	0.002	0.18	0.10	0.09	0.07	122	315	16.7	発明例
17	0.002	2.1	0.45	0.04	0.0003	1.5	0.002	0.18	0.10	0.09	0.07	120	322	17.0	比較例
18	0.002	2.1	0.45	0.04	0.0003	1.5	0.002	0.18	0.10	0.09	0.07	111	350	18.5	比較例
19	0.002	1.8	0.22	0.01	0.0002	2.8	0.003	0.69	0.022	0.005	0.05	125	316	14.9	発明例
20	0.002	1.8	0.22	0.01	0.0018	2.8	0.003	0.69	0.022	0.005	0.05	125	319	15.7	発明例
21	0.002	1.8	0.22	0.01	0.0023	2.8	0.003	0.69	0.022	0.005	0.05	125	319	16.5	比較例
22	0.002	1.8	0.22	0.01	0.0024	2.8	0.003	0.69	0.022	0.005	0.05	122	330	18.7	比較例
23	0.001	2.6	0.09	0.01	0.0002	1.3	0.004	0.11	0.09	0.01	0.03	120	334	16.5	発明例
24	0.001	2.6	0.09	0.01	0.0002	1.3	0.004	0.11	0.09	0.17	0.03	92	348	17.1	発明例
25	0.001	2.6	0.09	0.01	0.0002	1.3	0.004	0.11	0.09	0.21	0.03	78	359	17.9	比較例
26	0.001	2.6	0.09	0.01	0.0002	1.3	0.004	0.11	0.09	0.57	0.03	66	385	19.3	比較例

(注) 下線付き数字は、本発明範囲外を表す。

【0034】(実施例2)表2に示すように、SiとAl量とを調整した連続铸造スラブを供試材として用いた。その他の成分としては、実験No. 1～9については、0.001%C、0.2%Mn、0.02%P、0.0002%S、0.0007%N、0.25%Cu、0.04%Sn、0.05%Ni、0.05%Crに固定した。また、実験No. 10と11のみ、0.001%C、0.2%Mn、0.02%P、0.0002%S、0.0007%Nで、Cu、Sn、Ni、Crについてはそれぞれ0.0002%以下とした。このスラブを1100℃で加熱してから、1.5mm厚の熱延コイルを製造した。次いで900℃で15秒の焼鈍を N_2 中で実施した。酸洗してから0.25mmまで冷延した。この冷延板で表面酸化層を観察調査したが、酸化層は存在しなかった。

【0035】脱脂後、1100℃×10秒の均熱焼鈍を実施した。この時、加熱を無酸化炉(直火雰囲気、空燃

比=0.9)で行い、無酸化炉出側の板温を制御して、内部酸化層の厚みを変更した。無酸化炉を出てからは、電気ヒータゾーンで40% H_2 +60% N_2 雰囲気で焼鈍した。絶縁皮膜(クロム酸、マグネシウム、アクリル系の半有機皮膜)を約1.5 μm 厚焼き付けた。

【0036】このコイルから、打抜き性の評価は、リング試料(20mm ϕ ×30mm ϕ)の最大かえり量を測定し、かえりが5/100mmとなる打抜き回数を表2に記した。なお、金型はSKDを使用した。初回のかえりはいずれも2/100mmであった。また、エプスタイン試験片で磁気特性を測定した。引張試験片を圧延方向とそれと直角の方向に切り出し、下降伏点を測定して平均化して表2に載せた。製品の平均結晶粒径は、いずれも150～155 μm であった。

【0037】

【表2】

表2 実施例2の実験条件と結果一覧

実験 No	Si wt %	Al wt %	無酸化炉 出側温 度℃	内部酸化層 厚みμm	YP N/mm ²	打抜き回 数	W10/400 w/kg	備 考
①	1.8	1.8	450	0.01	320	45	13.8	発明例
②	1.8	1.8	590	0.28	320	43	14.0	発明例
③	1.8	1.8	680	0.47	320	40	14.3	発明例
④	1.8	1.8	740	0.52	320	35	14.8	比較例
⑤	1.8	1.8	920	0.78	320	21	15.9	比較例
⑥	2.6	1.8	600	0.31	350	36	11.2	発明例
⑦	2.8	1.8	600	0.31	360	34	10.9	発明例
⑧	3.0	1.8	300	0.02	375	27	9.7	比較例
⑨	3.0	1.8	800	0.62	375	14	11.8	比較例
⑩	1.8	1.8	590	0.11	320	45	13.9	比較例
⑪	1.8	1.8	920	0.39	320	42	13.9	比較例

(注) 下線付き数値は、本発明範囲外。

【0038】表2に示すように、成分、内部酸化層、降伏点とを本発明範囲に制御したものは、優れた打抜き回数および鉄損特性を示した。なお、最終の鋼板の成分をチェックしたが、スラブ成分と同一であった。No. 10と11とは、Cu, Sn, Ni, Crを含まない成分系であるが、内部酸化層は生成されにくい傾向にあることが実験No. 2と10との比較で、また実験No. 5と11との比較で分かる。その原因については、未だ不明確な部分があって今後の調査に待たなければならないが、表層をGDSなどでスパッターしながら調査すると、Cu, Sn, Ni, Crなどは表層に濃化する傾向があるため、これが原因の一つと推定している。

【0039】(実施例3)重量%で、0.0035%C、2.2%Si、0.18%Mn、0.01%P、0.0035%S、2.1%Al、0.0015%N、0.003%Nb、0.5%Cu、0.08%Sn、0.08%Ni、0.11%Cr、0.002%O、0.001%Ti、0.002%Mo、0.001%V、0.0001%B、0.0002%Sbを含むスラ

ブを1050℃で加熱してから、2.5mm厚の熱延コイルを製造した。次いで850℃×10秒の窒素中焼鈍をして、酸洗した。酸化層を調査したが、認められなかった。次いで0.2mmまで冷延し、脱脂後、均熱温度を表3のように変更して10秒均熱の30%H₂+70%N₂中の焼鈍を実施した。この時、均熱温度に到達するまでの加熱雰囲気はN₂とし、その酸素を0.01%とした。次いで有機、無機混合の絶縁皮膜を1μm厚で焼き付けた。

【0040】この鋼板表面を調査したところ、いずれも内部酸化層は、0.2μm厚であった。次いでエプスタイン試料に切断してから磁気特性を測定した。引張試験片を圧延方向とそれと直角の方向に切り出し、下降伏点を測定して平均化した。また結晶粒径も測定して、表3に示した。表3に示すように、本発明範囲の結晶粒径で優れた磁気特性・機械的性質が得られた。

【0041】

【表3】

表3 実施例3の実験条件と結果一覧

実験 No	均熱温度 ℃	結晶粒径 μm	YP N/mm ²	W10/400 w/kg	備 考
①	820	44	377	16.3	比較例
②	930	75	362	14.1	比較例
③	950	87	361	13.2	発明例
④	1050	128	360	12.9	発明例
⑤	1080	160	358	12.8	発明例
⑥	1100	236	358	13.5	比較例
⑦	1150	280	357	15.9	比較例

(注) 下線付き数値は、本発明範囲外。

【0042】

【発明の効果】地球環境問題からの鉄スクラップの積極活用課題を解決し、磁石埋設型モータの回転子の固有問

題であった、無方向性電磁鋼板の剛性、打抜き性、磁気特性などの課題も解決した無方向性電磁鋼板およびその製造方法を提供することができた。